

Stage de recherche M1 ou M2 en Physique de l'Atmosphère

Titre : thermodynamique des ascendances fortement précipitantes dans un système orageux

Contexte

Les ascendances convectives profondes peuvent s'agencer durablement dans l'espace pour former des systèmes orageux, appelés systèmes convectifs de mésoéchelle, et augmenter les taux de précipitation extrêmes associées. Cette intensification des précipitations a lieu à la fois à l'échelle locale et à l'échelle intégrée sur la durée de vie du système orageux, mais la dynamique et thermodynamique des parcelles nuageuses associées reste encore mal comprise. Un exemple de structure orageuse organisée en MCS est illustré en Fig. 1, incluant la zone de précipitation convective (couleurs > bleu foncé) et son nuage stratiforme associé (contour rouge).

Objectif

Ce stage se propose d'analyser des simulations numériques réalisées avec le modèle Méso-NH, reproduisant la dynamique d'un ensemble de systèmes convectifs de mésoéchelle. Ces structures orageuses organisées sont connues pour induire des précipitations extrêmes, et l'objectif sera comprendre dans quelle mesure l'agencement spatiotemporel des ascendances convectives affecte le développement et l'intensité des précipitations. On utilisera le formalisme de la parcelle nuageuse convective pour comprendre la vitesse d'ascension, la dilution par entrainement, la condensation et l'efficacité de précipitation associées aux parcelles nuageuses les plus vigoureuses, pour les différents types d'hydrométéores liquides et glacés. On implémentera notamment deux approches pour l'analyse des parcelles : la première, une approximation analytique eulérienne du taux de précipitation pour la condensation dans une colonne nuageuse (O'Gorman & Schneider 2009, Takayabu 2020), et on développera un regard critique sur les processus physiques représentés dans ce modèle physique, à différents niveaux dans l'atmosphère. La deuxième approche visera à suivre les parcelles nuageuses de manière lagrangienne (Morrison 2020) pour intégrer ces grandeurs physiques au cours l'ascension des parcelles, ce qui permet de considérer de manière plus fine les trajectoires, parfois inclinées, et les diverses durées d'ascendance des parcelles convectives.

Les principales questions scientifiques auxquelles ce stage vise de répondre sont les suivantes :

1. Les extrêmes de précipitation liquide sont-ils produits par les mêmes parcelles que les extrêmes de précipitation glacée ? Comment change l'efficacité de précipitation pour ces différents types d'hydrométéores et pour leurs différentes altitudes de formation ?
2. Quelles sont les causes possibles pour la diversité des profils de vitesse verticales associées aux extrêmes de précipitation : la composition des précipitations échantillonnées, l'environnement dans lequel évolue la parcelle précipitante, ou l'altitude d'origine de la parcelle considérée ?
3. Quels sont les facteurs qui expliquent la différence d'intensité de précipitation au cours du cycle de vie de la structure orageuse à plus grande échelle ?

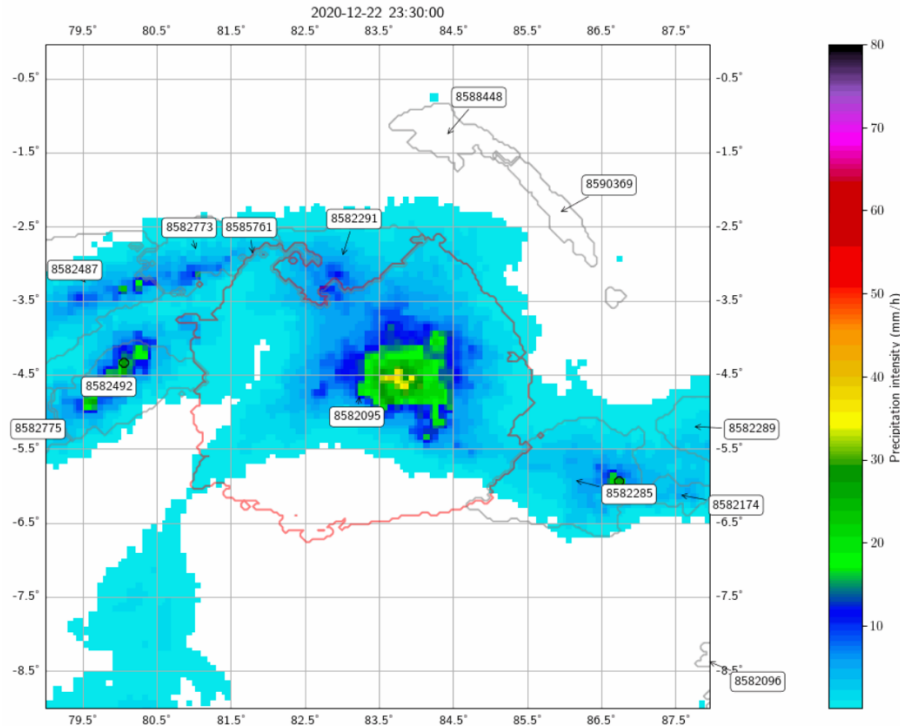


Figure 1 – Exemple de système convectif de mésoéchelle, détecté par observations satellites IMERG (précipitations, en couleur) et par l’algorithme de suivi TOOCAN (nuage stratiforme, contours).

Profil du candidat

Deuxième année de Master en géosciences ou troisième année d’école d’ingénieur. Une bonne connaissance en thermodynamique, en météorologie ou en mécanique des fluides est préférable, et une aisance avec les outils informatiques est indispensable, notamment le langage interprété Python et le travail sur ligne de commande en Linux (Bash).

Les qualités requises sont une bonne curiosité, autonomie, rigueur dans l’analyse et l’interprétation physique, et enthousiasme pour l’objet d’étude et l’approche numérique, et une bonne capacité d’expression en français et anglais.

Lieu de travail : LMD/ENS.

Le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) est un laboratoire de référence en sciences de l’atmosphère, rattaché au CNRS, à Sorbonne Université, à l’École polytechnique et à l’ENS-PSL. Il développe des modèles numériques et des approches théoriques et observationnelles pour étudier la dynamique atmosphérique, le climat et les atmosphères planétaires. La convection atmosphérique constitue un axe majeur de recherche au LMD. Les travaux portent sur la compréhension des processus convectifs, leur représentation dans les modèles climatiques et de prévision, et leur rôle dans les précipitations, la circulation tropicale et la variabilité climatique. Ces recherches s’appuient sur des simulations à haute résolution, des paramétrisations innovantes et l’analyse d’observations.

Durée : 4 à 6 mois à partir de Mars ou d’Avril 2026.

Encadrement

Benjamin Fildier (benjamin.fildier@cnrs.fr), Laboratoire de Météorologie Dynamique.

Lieu : Département de Géosciences, École Normale Supérieure, 24 rue Lhomond, 75005 Paris.

Bibliographie

O’Gorman, P. A., & Schneider, T. (2009). The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(35), 14773–14777. <https://doi.org/10.1073/pnas.0907610106>

Muller, C., & Takayabu, Y. (2020). Response of precipitation extremes to warming: what have we learned from theory and idealized cloud-resolving simulations, and what remains to be learned? *Environmental Research Letters*, 15(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7130>

Fildier, B., Collins, W. D., & Muller, C. (2020). Distortions of the rain distribution with warming, with and without self-aggregation. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 13, 1–21. <https://doi.org/10.1029/2020ms002256>

Morrison, H., Peters, J. M., Varble, A. C., Hannah, W. M., & Giangrande, S. E. (2020). Thermal chains and entrainment in cumulus updrafts. Part i: Theoretical description. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 77, 3637–3660. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-19-0243.1>